

Megújuló energiaforrások vizsgálata iskolai projektfeladatban¹

BEKE TAMÁS

beketomi@gmail.com

Nagyasszonyunk Katolikus Általános Iskola és Gimnázium, Kalocsa



Kulcsszavak: *projekt módszer, fizika, energetika, megújuló energiaforrások, környezettudatos gondolkodás*

Az iskolánk gimnazista tanulóival megvalósítottunk egy projektfeladatot, amelyben a megújuló és a nem megújuló energiaforrások szerepét vizsgáltuk. A témakör hatalmas, szinte végeláthatatlan. A projektben az volt a célunk, hogy a legfontosabb ismereteket összegyűjtsük a témában, főként olyanokat, amelyek a középiskolás tananyagban nem, vagy csak kevésbé szerepelnek. Bízom benne, hogy ezek az ismeretek más középiskolások számára is hasznosnak bizonyulnak.

A cikkben a projektmunka során szerzett tapasztalatok egy részét szeretném bemutatni. A cikk megírásának egyik pedagógiai célja az volt, hogy a természettudományos tantárgyak tanítási módszertanához kapcsolódóan egy olyan lehetőséget mutassak be, mellyel a tanórákat színesebbé tehetjük, a tanulók aktivitását növelhetjük. Tapasztalataim szerint a projekt módszer segít a tanulók tantárgyhoz vagy témakörhöz fűződő attitűdjének javításában is. Azok a tanulók, akik máskor motiválatlanul „szenvedik végig” a tanórákat, a projektmunka során megtalálhatják azokat a tevékenységi formákat, melyben kedvüket lelik, úgy érzik, hogy végre van értelme a munkájuknak.

A projektünk négy nagyobb részből állt. Vizsgáltuk a fosszilis energiahordozók szerepét, az atomenergia szerepét, a megújuló energiaforrások szerepét, illetve készítettünk egy számítógépes programot a megújuló energiaforrások felhasználásának modellezésére. Ebben a cikkben elsősorban a megújuló energiaforrások témakörhöz kapcsolódóan szeretnék néhány ötletet, gondolatot megosztani, de a nem megújulókról is lesz néhány szó. A megújuló energiaforrások vizsgálatának számítógépes modellezéséről és a hozzá kapcsolódó fizikai problémákról egy külön cikkben szeretnék majd beszámolni.

Az energetikai szektor a gazdaság egyik legnagyobb volumenű szektora, amely a gazdaság összes ágazatára fontos hatást gyakorol. Az energetikai szektor nagyon összetett: társadalmi, gazdasági, földrajzi, politikai, geopolitikai, hadászati tényezők is befolyásolják.

Az energiatermelésre többségében jellemző, hogy egy adott, lehetséges „energiatermelő” folyamat felfedezése, vizsgálata, értelmezése, a folyamatra épülő technológia kifej-

¹ Az írás az ELTE Fizika tanítása kutatási program keretében készült, a témavezető Dr. Bene Gyula.

lesztése és ipari alkalmazása között jelentős idő telik el. Bemutatok néhány példát ennek illusztrálására.

A radioaktív bomlás jelenségét Henri Becquerel francia fizikus fedezte fel 1896-ban. A radioaktív bomlás energetikai felhasználásának lehetősége az 1930-as években vetődött fel. Az első működő kísérleti atomreaktort (pár száz watt teljesítményű atommáglya) 1942-ben Chicagóban próbálták ki. A maghasadásos láncreakcióval működő első atombombát 1945-ben Új-Mexikó államban (USA), az alamogordói sivatagban robbantották fel, itt már tényleg jelentős mennyiségű energia keletkezett.

Az első polgári célú energiatermelő atomreaktort 1954-ben Obnyinszkban (Szovjetunió) helyezték üzembe. Az AM-1 (Békés Atom-1) kódjelű reaktor moderátor anyaga grafit volt, vízzel hűtötték, az elektromos teljesítménye 5 MW volt. Az atomerőművek tényleges elterjedése inkább csak az 1970-es évektől volt jellemző. A mostani modern atomerőművek reaktorainak villamos teljesítménye több száz MW, de a GW-os teljesítmények sem ritkák.

A könnyű atommagok egyesülésekor energia szabadul fel. A Nap belsejében magfúzió „termeli” az energiát. A fúzió beindulásához nagyon magas hőmérséklet (több millió K) szükséges. A könnyű atommagok fúziójával történő energiatermelés lehetősége a II. világháború környékén már ötletként megvolt. Földi körülmények között eddig csak a hidrogénbombában sikerült magfúziót létrehozni, ahol a szükséges hőmérsékletet (fissziós) atombomba felrobbantásával érték el.

Az első kísérleti hidrogénbomba-robbantást az USA hajtotta végre 1952-ben a Marshall atollon, de ez a bomba még hadászati célokra nem volt alkalmas. A következő, hadi célokra bevethető, amerikai H-bomba tervezésében Teller Ede vállalt főszerepet; ezt a bombát 1954-ben robbantották fel a Bikini atollon.

A Szovjetunió az első sikeres hidrogénbomba-robbantást 1953-ban hajtotta végre. Ezután több típust is kifejlesztettek, majd 1961-ben felrobbantották az eddig készült legpusztítóbb erejű hidrogénbombát, a Cárt. Ezután már csak „kisebb” méretű hidrogénbombákat gyártottak, amelyeket könnyebben és pontosabban célba lehetne juttatni.

Jelenleg kutatások folynak, hogy a magfúziót szabályozott formában is meg lehessen valósítani. A fúzióhoz használható üzemanyag, a deutérium és a trícium, megtalálható a Földön; ezek évmilliókra biztosíthatnák az emberiség energiaszükségletét viszonylag környezetbarát módon. A könnyű atommagok egyesülését kihasználó fúziós energiatermelő reaktorok megvalósítása egyelőre még várat magára. Jóslatok vannak arra vonatkozólag, hogy mikor állhatnak üzembe a fúziós erőművek, de igazából ezt senki sem tudja pontosan megmondani. Lehetséges, hogy néhány évtized múlva, lehet, hogy csak az évszázad vége felé, vagy majd idővel kiderül.

Az üzemanyagcella sem új találmány. Az első üzemanyagcellát még 1839-ben készítette William Robert Grove, a teljesítménye nagyon alacsony volt. Az alacsony teljesítmény az egyik oka annak, hogy nem tudtak jelentősen elterjedni az üzemanyagcellák. Egy benzinnel, gázzal vagy gázolajjal működő belsőégésű motorhoz képest még a modern üzemanyagcellák teljesítménye is kicsi. Viszont sokkal környezetbarátabb módon működhetnek, ami előnyös.

A példákból láthatjuk, hogy sok-sok évtized eltelhet a jelenség felfedezésétől az ipari alkalmazásáig. Ezért is fontos, hogy időben gondolkodjunk a jövőben alkalmazható energiatermelési módokon.

A fosszilis energiahordozók előbb-utóbb kimerülnek a bolygónkon. A jelenlegi kutatások szerint a kibányászható kőolajtartalékok maximum néhány évtizedre elegendőek. A

földgáz esetében kicsit jobb a helyzet, ebből a kőolajhoz viszonyítva még pár évtizeddel tovább tarthatnak ki a becsült készletek. Mindenesetre a XXI. század második felében a gazdaságosan felszínre hozható földgáz is el fog fogyni. A szén esetében egy-két évszázadra elegendő tartalékok vannak még.

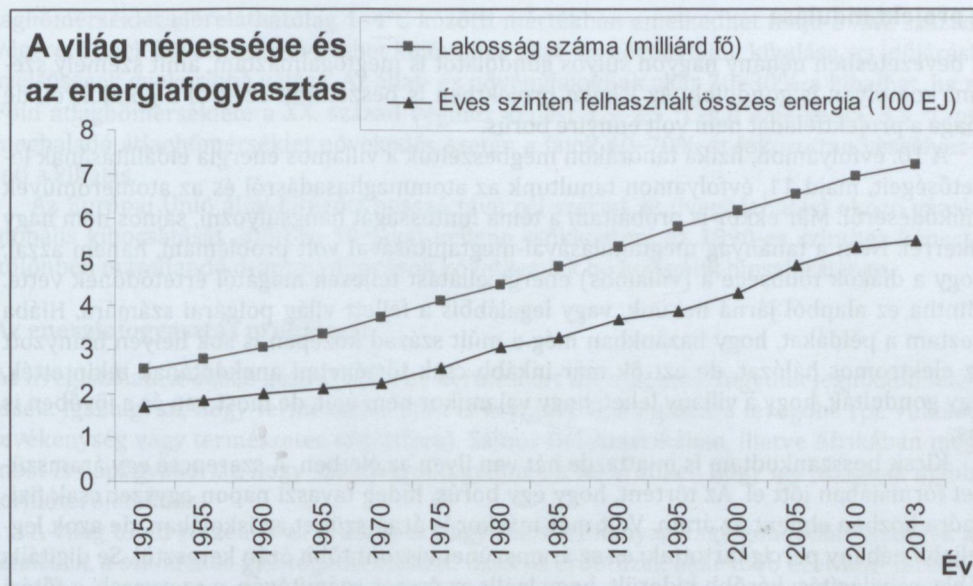
A fosszilis energiahordozók elégetése egyfelől környezetszennyezést okoz, másfelől ezeket az anyagokat a vegyipar nagyon fontos alapanyagként használja. A későbbiek folyamán az alapanyaghiány is problémákat okozhat. (Bizonyos vegyipari termékeket biomasszából, mezőgazdasági hulladékból stb. is lehet gyártani, de nem mindent.)

Az energiafelhasználás folytonosan növekszik

A II. világháború befejezése óta egy viszonylagos békekorszak időszakát éljük. Természetesen azóta is voltak és vannak háborús konfliktusok, de szerencsére újabb világméretű háború nem robbant ki. Ebben a relatíve békésebb periódusban a világ népessége folyamatosan gyarapszik, jelenleg kb. 7,25 milliárd ember él a Földön. Becslések alapján 2050-re ez a szám kb. 10 milliárdra emelkedik, 2100-ra pedig elérheti a 12–14 milliárd főt. Jelenleg nincs arra pontos adat, hogy mennyi a Föld eltartóképessége, de mivel a rendelkezésre álló erőforrások és nyersanyagok végesek, ezért értelemszerűen nem növekedhet ez a szám minden határon túlra. (Korábban voltak olyan becslések, hogy kb. 15 milliárd fő körül lehet a bolygónk eltartóképessége, de ezt sokan vitatják, köztük én is. Véleményem szerint ettől kevesebb embert képes a Föld eltartani.) Az azonban tény, hogy már jelenleg is szűkösek az erőforrások; évente sajnos több millió ember hal éhen, és kb. 1–2 milliárd ember éhezik. A folytonosan növekvő lakosságszámnak tehát lehet, hogy súlyos ára lesz, az éhezők száma akár drasztikusan tovább nőhet.

A társadalom tagjainak jogos igénye, hogy egy viszonylagos jóléti állapotban élhessenek; ne kelljen éhezniük, és az életük fenntartásához szükséges alapvető források rendelkezésükre álljanak. Ezen célok megvalósításához 3 dolog szükséges:

1. Először is tudomásul kell vennünk, hogy egy véges méretű bolygón véges mennyiségű ember élhet, ezért szükség lehet a születések (népesedés) mesterséges szabályozására. (Ez akár természetes úton is végbemehet: pl. a túlnépesedett Földön egy halálos járvány sokkal nagyobb mértékű pusztítást eredményezhet az ember-életekben, mintha ritkábban lakott lett volna a bolygó.) Ez egy nagyon érzékeny és súlyos összetársadalmi probléma, de a jövőnk biztosítása miatt ezzel a kérdéssel is szembe kell néznünk!
2. Másodsorban, a rendelkezésre álló erő- és energiaforrásokkal sokkal takarékosabban kell bánnunk. Jelenleg olyan mértékű energia- és anyagfelhasználás történik, ami biztos, hogy nem tartható fenn sokáig. Az 1. ábra a Föld lakosságát és a lakosság által éves szinten felhasznált összes energiamennyiségét tartalmazza (becsült értékek).



1. ábra: A Föld lakossága és az energiafogyasztás

(Források: [1] United Nations World Population Prospects, [2] U.S. Department of Energy)

A II. világháború befejezése óta a Föld lakossága és energiafogyasztása is folyamatosan növekszik. Látható, hogy a lakosság száma és az elfogyasztott energia erősen korrelál egymással [3].

Meg kell értenünk, hogy egyszerűen nem pazarolhatjuk el a nyersanyagokat és energiaforrásokat, mert egy határon túl már nem lesz visszaút. Néhányan azt képzelik, hogy majd átköltözünk egy másik bolygóra (holdra), és ott folytatjuk az életünket, de szerintem nem ez a megoldás. (Lehet, hogy sor kerül majd rá, de az emberek döntő többségének ez nem jelenthet alternatívát.) Ezen a bolygón élünk. Erre kell vigyáznunk! Ennek fontosságára nem lehet elégszer felhívni embertársaink figyelmét, hiszen sokan elbagatellizálják a témát. Véleményem szerint minden természettudományt tanító tanárnak kötelessége a diákok figyelmét ráirányítani erre a kérdésre. A gyermekek szemléletének formálásában mindent meg kell tennünk, amit megtehetünk.

- Harmadsorban a technikai és technológiai ismereteink bővítésével el kell érni, hogy olyan energia- és anyag-felhasználási sémát fejlesszünk ki, ami hosszú távon is fenntartható. A hosszú távú kifejezés pontos jelentését itt egzakt módon nem tudom definiálni, de nem évszázadokban, vagy évezredekben, hanem attól jóval nagyobb időtávlatokban gondolkodom. Ez azért fontos, mert a projektben vizsgáltunk olyan energiaforrásokat is, amelyek néhány száz évig még kitarthatnak (pl. szén vagy atomenergia), de ez nem igazi hosszú távú megoldás.

A projekt indulása

A bevezetésben néhány nagyon súlyos gondolatot is megfogalmaztam, amit személy szerint komolyan is gondolok. Az iskolai projektben is beszéltünk ezekről a gondokról, de maga a projektfeladat nem volt ennyire borús.

A 10. évfolyamon, fizika tanórákon megbeszéltük a villamos energia előállításának lehetőségeit, majd 11. évfolyamon tanultunk az atommaghasadásról és az atomerőművek működéséről. Már ekkor is próbáltam a téma fontosságát hangsúlyozni, sajnos nem nagy sikerrel. Nem a tananyag megtanulásával-megtanításával volt problémám, hanem azzal, hogy a diákok többsége a (villamos) energiaellátást teljesen magától értetődőnek vette. Mintha ez alaptól járna nekünk, vagy legalábbis a fejlett világ polgárai számára. Hiába hoztam a példákat, hogy hazánkban még a múlt század közepén is sok helyen hiányzott az elektromos hálózat, de ezt ők már inkább csak történelmi anekdotának tekintették. Úgy gondolták, hogy a villany lehet, hogy valamikor nem volt, de most van és a jövőben is lesz.

Kicsit bosszankodtam is miatta, de hát van ilyen az életben. A szerencse egy áramszünet formájában jött el. Az történt, hogy egy borús, hideg tavaszi napon egyszer csak fizikaóra közben elment az áram. Volt már máskor is áramszünet az iskolában, de azok legfeljebb néhány percig tartottak; ez az áramszünet viszont több órán keresztül. Se digitális tábla, se világítás; később kiderült, hogy leállt az összes számítógép, a szerverek, a fűtési rendszer stb. Először persze óváció volt, de miután rájöttek a diákok, hogy a tanulás ilyen körülmények között is folytatódik, akkor már nem voltak olyan vidámak. „Fázunk. Nem látjuk a táblát. Nem látjuk a könyvet. Nem látjuk a füzetet. Így nem lehet tanulni...”

Na, gyerekek! Hát én erről beszéltem. A (villamos) energiára ti úgy tekintettetek eddig, hogy az mindenkinek jár. Most megtapasztalhattátok, hogy milyen nehéz lenne nélküle élnünk. Ki tudja, hogy mit hoz a jövő? Lehet, hogy gyakrabban lesznek ilyen áramszünetek. Ti viszont azért tanultok fizikát, hogy megoldást találhassatok a problémára.

A következő fizikaórán újra elővettem a témát. Most már sokkal többen voltak fogékonyak iránta. Végezetül abban maradtunk, hogy fizikaszakkörön elindítunk egy projektet, amiben megvizsgáljuk, hogy milyen energiaforrások állnak rendelkezésünkre. A témakör projektszerű feldolgozását Király–Radnóti (2012a: 8–17) is javasolta már.

A projektfeladatban a részvétel önkéntes alapon történt. Olyanok is bekapcsolódtak a projektbe, akik előtte nem jártak fizikaszakkörre. Azt hiszem, hogy az áramszünet ideje alatt, a sötétben való kuksolás során, sok tanulóban „világosság gyúlt”.

Az éghajlatváltozás okai és hatásai

A nemzetközi klímaváltozási munkacsoport (ICCT= International Climate Change Taskforce) elemzése alapján az 1750-től 1950-ig terjedő időszakban a bolygónk átlaghőmérséklete 0,2 °C-ot emelkedett, az elmúlt fél évszázadban viszont 0,6 °C-kal lett magasabb. Ennek legfőbb oka a légkörbe kerülő üvegházhatású gázok (elsősorban széndioxid) mennyiségének fokozatos növekedése. Az ipari forradalom idején a légkörben lévő CO₂ mennyiség 280 milliommód térfogatrészt (ppmv) volt, napjainkban ez 384 ppmv-re növekedett. A fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) elégetése következtében évente hozzávetőlegesen 6,5 milliárd tonna széndioxid kerül a légkörbe, ez a légkör teljes széndioxid-tartalmának kb. 1%-át jelenti.

A klímaváltozási szakértők többsége ma már egyértelműen úgy foglal állást, hogy a globális felmelegedés jelentős részben emberi tevékenység következménye. A globális át-

laghőmérséklet előreláthatólag 1–4°C közötti mértékben emelkedhet majd a XXI. század végére. Ennek következménye lehet különböző állat- és növényfajok kihalása, az időjárási szélsőségek gyakoribb válása. Az állat- és növényfajoknak akár 20–30%-a kihalhat, ha a Föld átlaghőmérséklete a XX. század végihez képest 1,5–2,5 °C-kal emelkedik. 3,5 °C-ot meghaladó átlaghőmérséklet növekedés esetén a fajok 40–70%-át fokozottan veszélyezteti a kihalás.

Az Európai Unió által kitűzött hosszú távú cél szerint az üvegházhatást okozó gázok globális kibocsátását 2050-re 50%-kal kellene csökkenteni az 1990-es szinthez képest, különben maradandó drámai változások következnek be bolygónk bioszférájában.

Az energiafogyasztás problémái

Az üvegházhatást okozó gázok légkörbe kerüléséért mi, emberek vagyunk leginkább felelősek. Igaz ugyan, hogy természetes úton is kerülnek ilyen gázok a levegőbe (pl. vulkáni tevékenység vagy természetes erdőtüzek). Sajnos Dél-Amerikában, illetve Afrikában még most is napi gyakorlat, hogy szándékosan gyűjtanak fel erdőket, hogy így jussanak újabb termőterületekhez.

A világ többi részén is az erdőtüzek nagy részéért hanyag vagy gondatlan emberek a felelősek, a szándékos gyújtogatás mellett. Ezek az erdőtüzek akár több ezer km² területre is kiterjedhetnek (pl. Ausztrália, Oroszország, USA), az eloltásuk szinte lehetetlen feladat, sokszor addig égnek, amíg az adott területen minden leég. Az erdőtüzek közvetlen természetkárosító hatása mellett még rengeteg, üvegházhatást okozó gáz is a légkörbe kerül.

Hatalmas mennyiségű széndioxid és szénmonoxid szabadul fel azokból a szénbányák-ból is, amelyek begyulladtak, és nem tudták őket eloltani. Ilyen például a pennsylvaniai Centralia város melletti szénbánya, ami 1962-ben gyulladt be, mert felelőtlen emberek szemetet égettek a bánya mellett. Az égő szemétről a tűz átterjedt a bányába, s a tüzet azóta sem tudták eloltani. A környékről a lakosságot evakuálni kellett. Becslések szerint a tűz még akár 250 évig éghet.

Sajnos nem ez az egyetlen égő szénbánya a Földön. Afrikában, Amerikában, Ausztráliában és Ázsiában is számos szénbánya gyulladt be, az oltásukra nincs esély. Egyes becslések szerint csak a Kínában égő szénbányák a világon az üvegházhatású gázok kibocsátásának 2,5–3%-áért felelősek. (Emellett jelenleg Kína a világ legnagyobb szénkitermelője és fogyasztója is.) Bár a pontos adatokat nem lehet tudni, de becslések szerint éves szinten kb. 20 millió tonna szén ég el a begyulladt bányákban összességében, ezzel is folytonosan növelve a légkör üvegházhatású gázainak mennyiségét.

Az előzőekben láthattuk, hogy a felelőtlen emberi magatartás (erdőégetés, bányatüzek) következtében nagyon sok széndioxid és szénmonoxid kerül a légkörbe. Emellett a kőolaj és földgáz kitermelése, feldolgozása és felhasználása során is üvegházhatású gázok jutnak a levegőbe.

Jelenleg az összes energiafogyasztás kb. 80%-a fosszilis (kőszén, kőolaj, földgáz) energiaforrásokból származik; ebben a közlekedés is szerepel (Kiss 2008). Király-Radnóti (2012b: 3–12) szerint a fokozatosan növekvő energiaigény figyelembevételével a kőolaj-kitermelés kb. 40–60 évig, a földgáz-kitermelés 60–100 évig, a kőszénfejtés 150–200 évig folytatható, gyakorlatilag már a XXI. században óriási problémák jelentkezhetnek az energiatermelésben, ha nem kezdünk el időben gondolkodni a megoldási lehetőségeken.

Az adatok alapján a tanulókkal megállapítottuk, hogy a fosszilis eredetű anyagok elégetése hosszú távon nem jelenthet megfelelő megoldást. Egyfelől folytonosan növelnénk a légkörbe jutó széndioxidot, másfelől a szén, a kőolaj és a földgázkészletek egyébként is belátható időn belül kimerülnek. A (közel)jövő energiapolitikájának kiindulópontja az éghajlatváltozás elleni küzdelem. A bolygót egy magas hatékonyságú és alacsony CO₂-kibocsátású energiagazdasággá kell átalakítani. Alapvetően az atomenergia vagy a megújuló energiaforrások használata jelenthet megoldást. Ezen energiatermelési módoknak jól kidolgozott gyakorlata van (Csom 2007: 1–4).

A projektben áttekintettük a különböző módszerek előnyeit és hátrányait, az EU energiapolitikáját és hazánk energetikai jellemzőit is. Terjedelmi korlátok miatt a cikk további részeiben csak a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ötleteket, gondolatokat mutatom be. Ezen ismeretek egy része szerepel a középiskolai tananyagban, de vannak benne olyan részek is, amelyek a fizika tananyagot hasznosan egészítik, bővítik ki.

Megújuló energiaforrások

Megújuló energiaforrásnak nevezzük az olyan energiaforrást, amely természeti folyamatok során folyamatosan rendelkezésre áll vagy újratermelődik (nap-, szél-, vízenergia, biomassza, geotermikus energia stb.). A *megújuló energiaforrások* kifejezés egy gyűjtőfogalom, a különböző megújuló energiaforrások felhasználása, alkalmazási lehetőségeik egymástól lényegesen eltérők.

A megújuló (zöld, esetleg kék) energiaforrások (nap-, víz-, szél-, geotermikus-energia, árapály erőmű) jelentik az emberiség számára a leginkább környezetkímélő energiatermelést. Sajnos a pillanatnyi gazdasági érdekek sokszor háttérbe szorítják a felhasználását, mivel léteznek olcsóbb, de a környezetünket szennyező energiaforrások is (szén, kőolaj, földgáz stb.).

A megújuló energiaforrások intenzívebb felhasználása előnyös mind az ellátásbiztonság, mind a fenntarthatóság, mind a környezetvédelem szempontjából; ezért a megújuló energiaforrások felhasználását mindenütt fokozni kellene. Tudnunk kell, hogy a vízenergia kivételével a megújulók általában gazdasági szempontból ma még nem versenyképesek az ipari méretű energiatermelési piacon az egyéb energiahordozókkal (pl. atomenergia) szemben, ezért támogatásra szorulnak. A helyzetet bonyolítja az is, hogy egyes megújuló energiaforrások (pl. szélerőmű) esetében bizonyos rendszerszabályozási problémák merülnek fel; a vízerőművek és a geotermikus energia esetén ilyen jellegű nehézségek általában nincsenek. A megújuló energiaforrások fokozottabb felhasználásának fontos célja a bolygónkon tapasztalható klímaváltozás fékezése.

Napenergia

A napenergia forrása a Napban lejátszódó magfúziós folyamat. Ennek az energiának egy része $3,86 \cdot 10^{26}$ W sugárzási teljesítménnyel szétsugárzódik a Napot körülvevő térbe; a Földön a terjedési irányra merőleges síkban a napsugárzás energiaáramának átlagos sűrűsége kb. 1360 W/m^2 . Bolygónk közel állandó értékű sugárzási teljesítményt vesz fel; ez az ultraibolya, a látható és az infravörös tartományba esik. Az energiamaximum 483 nm -es hullámhossznál található. A Föld atmoszférájába bejutó napenergiának átlagosan 30 %-a a világhőbe jut vissza a reflexió és a szóródás miatt.

A Napból érkező energia a lakosság energiaszükségletének a többszöröse; így a megújuló energiaforrások közül a napenergia hasznosítása lehet a legversenyképesebb alter-

natíva a jelenlegi energiatermelési módokhoz képest. Magyarországon a földrajzi fekvéstől függően a napos órák száma 1900–2200 óra/év érték átlagosan.

A hétköznapi szóhasználatban több energia-előállítási, vagy -kinyerési módot is megkülönböztetünk. Az energiatermelési módszerek nagyon különbözőek lehetnek, de maga az energia a legtöbb esetben tulajdonképpen közvetve vagy közvetlenül a Naptól származik. A napkollektorok és napelemek esetén a kapcsolat nyilvánvaló. A szélenergia a szélből származik, ami azért jön létre, mert a napsugárzás nem egyenletes, így a földfelszín közelében a hőmérséklet sem lesz egyenletes, ezért a nyomás sem lesz egyforma. A szél tulajdonképpen a nyomáskülönbség kiegyenlítődése a levegő mozgása által, ezért a szélenergia is közvetve a Naptól származik. A vízenergia szintén közvetve a Naptól származik, mert a napsugárzás hatására párolognak el az alacsonyabban fekvő vízcseppek, ezek felszállnak a felhőkbe, majd csapadék formájában leesnek, így kerülhetnek újra a magasabban fekvő részekre (is). A vízerőművekben pedig a magasabban fekvő helyről az alacsonyabban fekvő helyre folyó víz energiáját alakítjuk át villamos energiává.

A fosszilis energiaforrások (szén, kőolaj, földgáz) úgy jöttek létre, hogy a régen élt szerves élőlények maradványai lebomlottak. Ezen élőlények többségének annak idején szükségük volt a napsütésre az életfolyamataik fenntartásához. Hasonló a helyzet a biomasszát alkotó elhalt élőlények esetén is, annyi különbséggel, hogy ezek az élőlények csak nemrég pusztultak el. Láthatjuk, hogy áttételesen a fosszilis és a biomassza energiaforrások létrejöttéhez is szükség volt a Napra.

A geotermikus elvű energiatermelés során a földkéregben a magasabb rendszámú elemek bomlása során keletkező hőt hasznosítjuk. Láthatjuk tehát, hogy majdnem az összes energia valahogyan a Naptól származik, aminek a belsejében a legfontosabb energiatermelő folyamat a magfúzió. Kivétel ez alól az árapály-elvű energiatermelés, amiben a Föld és a Hold játszik szerepet. Másik kivétel a fúziós elvű energiatermelés, amit egyelőre csak szabályozatlan formában valósítottak meg a Földön a hidrogénbomba formájában. A hidrogénnel működő motorok, illetve üzemanyagcellák szintén kivételt képeznek.

A napenergia hasznosításának lehetőségei

Meleg víz előállítása napkollektorok segítségével (épületek fűtése, használati meleg víz előállítása): a napkollektor belsejében keringő hőhordozó folyadék (ritkább esetben gáz) felmelegszik és átadja a hőjét egy megfelelően szigetelt, vízzel teli hőtároló tartálynak. Ebből a tartályból aztán a melegvíz a fűtendő épületbe áramlik a központi fűtéshez hasonló módon (esetenként keringető szivattyú is szükséges); a lehűlt folyadék pedig újra a napkollektorba kerül, ahol a folyamat előlről kezdődik.

Gőzfejlesztés napenergiával: a napsugarakat (parabola) tükrökkel összegyűjtik, majd a napsugárzás hőhatását kihasználva valamilyen folyadékot (pl. olaj vagy víz) gőzzé alakítanak. A nagynyomású gőzzel egy turbinát hajtanak, ami egy generátort forgat, így közvetve napsugárzással elektromos energiát állítanak elő (Kiss 2008).

Elektromos áram előállítása napelemekkel: a napelemek (fotovoltaikus elemek) a Nap elektromágneses sugárzásának felhasználásával, fotoelektromos úton állítanak elő egyenfeszültséget, amit egy ún. inverter alakít át 230V-os váltakozó feszültséggé a normál hálózati fogyasztók ellátására. Ha több energia termelődik, mint amennyit felhasználunk, a maradék energiát akkumulátorok segítségével tárolhatjuk, vagy a megfelelő csatlakozás kiépítése után a normál hálózatba táplálhatjuk.

Manapság a fotovoltaiikus áramforrásokban alkalmazott napelemek legnagyobb része szilícium alapanyagból készül, de más anyagok is felhasználhatók, pl. gallium-arzenid (GaAs), vagy réz-indium-diszelenid (CuInSe₂) is. A korszerű napelem modulok energiaátalakítási hatásfoka 15%, élettartamuk 30–35 év körül van. Vannak ettől jóval nagyobb hatásfokú (kb. 35%) speciális napelemek is, de ezek általában csak alacsony hőmérsékleten képesek erre a magasabb hatásfokra, ezért a hétköznapi életben nem terjedtek el.

Mezőgazdasági célokat ellátó rendszerek (üvegházak): a passzív napenergia-hasznosítás során az épületekben a napenergia minél hatékonyabb felhasználása a cél, segítségével a fűtési és világítási energia jelentős részét megtakaríthatjuk.

Mennyi napelemre lenne szükség?

Becsüljük meg, hogy mekkora területen kellene napelemeket elhelyeznünk ahhoz, ha csak ezzel a módszerrel szeretnénk hazánk villamos energia ellátását biztosítani! A becsléshez néhány közismert adatot fogunk felhasználni.

A Paksi Atomerőmű villamos teljesítménye jelenleg (a teljesítménynövelés után) kb. 2 GW. Ha mind a négy reaktorblokk üzemel, akkor az atomerőmű termeli az ország villamos energiájának kb. 42–45%-át. A reaktorblokkokon azonban időközönként tervezett karbantartási, átvizsgálási, átrakási munkafolyamatokat hajtanak végre, ezért hozzávetőlegesen 11 hónapot működik egy-egy reaktorblokk egy adott évben. Ha ezt is figyelembe vesszük, akkor azt kapjuk, hogy éves szinten megközelítőleg hazánk teljes villamos energia szükségletének kb. 40%-át adja az atomerőmű. Ezek alapján Magyarországon átlagosan kb. 5 GW fogyasztói villamos teljesítmény felhasználással számolhatunk.

A GKI elemzése szerint napi átlagban kb. 4 GW és kb. 6 GW közötti villamosenergia-felhasználási teljesítményt mértek az elmúlt 10 év átlagában. Ez azt jelenti, hogy egy adott naptári napra számítva hazánk összes villamosenergia-felhasználását elosztották 86400 másodperccel, majd ezt 10 évre átlagolták, és az így kapott értékek 4 GW és 6 GW közé estek². Természetesen volt néhány nap, amikor ez az érték 4 GW alatt volt, és volt néhány nap, amikor 6 GW felett. A becslésünkhöz tehát nyugodtan elfogadhatjuk az 5 GW villamos átlagteljesítményt országos szinten.

Ha egy évet számolunk, akkor $t=1\text{év}=3,156 \cdot 10^7$ s; a teljesítmény $P=5 \cdot 10^9$ W, az összes villamos energia:

$$W_{el} = P \cdot t = 1,578 \cdot 10^{17} \text{ J.}$$

Egy adott évben tehát ennyi energiát szeretnénk napelemekkel előállítani.

A Nappól érkező közvetlen és szórt sugárzás együttes értéke a földfelszín közelében, déli órákban, átlagos napsütés esetén, a téli félévben kb. 250–600 W/m²; a nyári félévben kb. 600–1000 W/m² között változik. (Mint már említettük, a légkör felsőbb részein merőleges beesésénél ez az érték átlagban kb. 1360 W/m².) Az egyszerűség kedvéért számoljunk átlagban 500 W/m²-es értékkel. Egy mostani napelemcella átlagos hatásfoka kb. 15%, azaz egy 1 m² felületű napelemnek átlagosan $P'=500 \cdot 0,15=75$ W-os az elektromos teljesítménye működés közben. Statisztikai adatok szerint hazánkban a napsütéses órák száma éves szinten kerekítve 2000 óra, azaz $t'=7,2 \cdot 10^6$ s. Ezek alapján egy 1 m²-es napelemmel éves szinten átlagosan termelhető villamos energia mennyisége:

$$W'_{el} = P' \cdot t' = 5,4 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

² <http://gkienergia.hu>

Most már megkaphatjuk a szükséges napelemek számát:

$$N = \frac{W_{el}}{W'_{el}} = \frac{1,578 \cdot 10^{17}}{5,4 \cdot 10^8} = 2,92 \cdot 10^8 \text{ db.}$$

Mivel az egyszerű szám példánkban 1 m²-es napelemekkel számoltunk, ezért az N db napelemünk felülete $2,92 \cdot 10^8 \text{ m}^2 = 292 \text{ km}^2$ lenne. Ha egy kicsit realisabban meggondoljuk, akkor egy 1 m² hasznos felületű napelemtábla tényleges mérete ettől nagyobb a ke-retrész miatt. Ennyi darab napelemet nem lehet közvetlenül egymás mellé összeépíteni, hiszen a szerelésükhöz, szervizelésükhöz is helyre van szükség. Ha a napelemcsoportok (klaszterek) közötti területeket (pl. szervíz utak) is beleszámítjuk, akkor szerintünk nagyságrendileg 600–900 km² területre lenne szükségünk összesen. (Ez több kisebb nagyobb napelemes energiatermelő erőművet jelentene.) Szerintünk ez elméletileg (hang-súlyozottan elméletileg) megvalósítható lenne, hiszen ez Magyarország összterületének (93030 km²) kb. 0,7–1%-a. (Az országos léptékű gyakorlati megvalósítás viszont nem reális, több okból sem.)

Nézzük meg most a problémát a lakossági fogyasztók (háztartások) szemszögéből is! Vizsgáljuk meg, hogy megérné-e egy napelemes rendszer kiépítése egy háztartás esetén.

Először is a projektben résztvevő tanulók a saját háztartásuk adatai alapján kiszámították, hogy mekkora átlagos villamos teljesítményt használnak. Az átlagolások alapján azt kaptuk, hogy egy „átlagos” háztartás számára (bőven) megfelelne egy olyan napelem rendszer, amelynek átlagos teljesítménye kb. 4 kW. Ez az átlagos teljesítményt jelenti, nem a maximális teljesítményt. Egyébként ez az érték nagyon erős „felülbecslésnek” tekinthető, a tanulóknál ettől kisebb átlagteljesítmények adódtak. A biztonsági felültervezés miatt választottuk a 4 kW-ot.

Egy komplett napelemrendszer tartalmazza magukat a napelemeket, a tetőre szerelhető tartókereteket, a rögzítő elemeket, az elektromos szerelvényeket, az invertert. Mondjuk pl. 18 db 230 W-os átlagos teljesítményű napelem a háztetőn kb. 30–35 m² helyet foglalna el a szerelékekkel együtt. Egy ilyen komplett rendszer ára tervezéssel, szereléssel, beüzemeléssel együtt kb. 1,7 millió Ft (+ÁFA).

Magyarországon a napsütéses órák száma éves szinten kb. 2000 óra. (Ez természetesen függ a földrajzi elhelyezkedéstől, a domborzati viszonyoktól, az időjárástól stb.) A napelemes rendszerünkkel tehát egy év alatt közelítőleg 8000 kWh villamos energiát termelhetnénk meg.

A lakossági fogyasztók villamos energia díjszabása függ az éves fogyasztás mértékétől, illetve a fogyasztás időpontjától (csúcsidőszak vagy völgyidőszak) is, és a díj az egyes szolgáltatóknál sem egyforma. A tavalyi évben politikai döntések miatt csökkent az áramdíj, most hozzávetőlegesen 1 kWh villamos energiát 40 Ft-ért kapnak a fogyasztók; azaz 1 év alatt a napelemes rendszerrel kb. 320000 Ft-ot spórolnánk meg. Összességében tehát kb. 7 év alatt visszahozná a beruházás az árát, és utána már „ingyen” termelné a villamos energiát. A valóságban valószínűleg nem fogyasztanánk el az összes megtermelt villamos energiát, ezért csak valamivel hosszabb távon térülne meg a beruházás (kb. 10–15 év alatt). Más lenne a helyzet, ha a felesleget piaci áron átvinné tőlünk a szolgáltató.

Egy modern, minőségi napelemes rendszerre a jobb gyártók úgy prognosztizálják, hogy még 25 év múlva is az eredeti névleges teljesítményük kb. 80%-át képesek lesznek teljesíteni. (Értelemszerűen a legújabb fejlesztésű napelemekre még nincsenek több évtizedes valós mért értékek.) Még így is nagyon jó befektetésnek tűnik a napelemes rend-

szer a családi költségvetés és a környezetvédelem szempontjából is; főként, ha van rá anyagi lehetősége a családnak.

Üzemanyagcella

Az üzemanyagcella gyakorlatilag az elektrolízis megfordításával működik, azaz kémiai reakcióból állít elő elektromos energiát. A hagyományos elektromos elemek a lemerülésük után többé nem használhatók, az akkumulátorok lemerülésük után elektromosan feltölthetők és újra használhatók, az üzemanyagcellák viszont a lemerülésük után újra működnek, ha üzemanyagot töltünk beléjük.

Az üzemanyagcella általában két elektródából és a köztük lévő elektrolitból áll. Az üzemanyagcella üzemanyaga lehet hidrogén, de vannak szénhidrogénekkel (pl. metanol, metán, földgáz) működő üzemanyagcellák is. A működés során az üzemanyagcellában lévő hidrogén protonra és elektronra bomlik, a folyamathoz katalizátort (általában platina) is használnak. A protonok az elektrolitba jutnak, az elektronok elvezethetők, a folyamat zárásaként az elektronok egyesülnek a protonokkal és oxigénnel (katalizátor jelenlétében), végeredményül víz keletkezik. (A szénhidrogén-származékokkal működő típusokban széndioxid is keletkezik, a hidrogénnel működőkben nem.) Az üzemanyagcellában elektrokémiai reakció zajlik, ebben sokkal kevesebb széndioxid és más káros anyag keletkezik, mint ha az adott mennyiségű üzemanyagot (szénhidrogént) elégettük volna. A modern üzemanyagcellák működésének hatásfoka viszonylag jó, de a gyártásuk egyelőre még költséges.

Üzemanyagcellát használnak az űrsiklókban vagy néhány helyen a tömegközlekedésben (pl. autóbuszok, metró) is, de igazából még nem terjedtek el széles körben. Ennek egyik oka az, hogy jelenleg még drágák és viszonylag nagy a méretük, bár ez folyamatosan csökken. Az üzemanyagcellák a jövőben nagyobb szerephez juthatnak, hiszen korlátlanul újratölthetők, ellentétben az akkumulátorokkal, amelyeknek van egy behatárolható élettartama, azaz bizonyos számú feltöltést és lemerítést bírnak csak ki.

Szélenergia

A szél a levegő földfelszínhez viszonyított mozgása, mely a légkörben kialakuló nyomáskülönbségek hatására jön létre. Az első szélmalmost feltehetőleg a perzsák építették az ókorban. A szélmalmok fénykora a XVI–XVII században volt olyan területeken, ahol a szélre biztosan lehetett számítani (pl. a tengerpartokon). A XX. században kezdődött el a szél energiájának átalakítása villamos energiává szélmotorokkal, szélturbinákkal. Az első nagy szélerőmű 1941-ben épült az USA-ban, Vermont államban, melynek teljesítménye 1,25 MW volt. (A szélerőgépeket vízszivattyúzásra, öntözésre vagy pl. halastavak levegőztetésére is használhatják.)

A szél mint energiaforrás

A szél mozgási energiáját elsősorban azokon a vidékeken érdemes kiaknázni, ahol a szélesebbé évi átlaga meghaladja a 4–6 m/s értéket. A tengerpartok többsége ilyen hely, a szárazföld belseje felé haladva a belső súrlódás miatt általában csökken a szél sebessége.

Mivel a szél intenzitása folyamatosan változik, ezért szélerőművet csak olyan helyen érdemes telepíteni, melynek környezeti viszonyai és domborzati fekvése megfelelő a

szélenergia kinyerésére, hiszen a domborzat és a különböző tereptárgyak nagymértékben befolyásolják a levegő áramlását.

A szélturbinák segítségével állíthatunk elő villamos áramot, ezek teljesítménye az utóbbi évtizedekben rohamosan nőtt, így ma már nagyjából 10 kW és 10 MW között mozog, hatásfokuk 10–30%. A rotor átmérője 40 és 120 m között van. A kisebb, házi turbinák teljesítménye általában nem haladja meg az 1 kW-ot, és a rotorjuk átmérője sem több 0,5–3 méternél; ezeket pl. olyan helyeken érdemes használni, ahová a villamos távhálózatot nem gazdaságos elvezetni (pl. tanyák).

A szélerőműveket általában két módon üzemeltetik:

- A termelt villamos energiát saját célra használják fel. Ezt szigetüzemű működésnek nevezik.
- A szélgenerátor által termelt villamos áramot közcélú elosztóhálózatba táplálják.

Az energia tárolása

A szélgenerátorok által termelt villamos energiát akkumulátorok töltésére is lehet használni, az akkumulátorokban tárolt energia helyi egyenáramú hálózatot táplálhat, vagy átalakítható váltakozó árammá, amivel háztartási eszközök üzemeltethetők a szokásos módon. Ha a folyamatos felhasználás mellett többletenergia keletkezik, amit lokálisan nem fogyasztanak el, akkor a plusz mennyiség a kereskedelmi hálózatot táplál(hat)ja; pl. Dániában a családi szélgépekkel megtermelt energiafelesleg az országos hálózatba kerül. Az előállított elektromos energiát hővé is lehet alakítani, melegvíz-szolgáltatás, illetve fűtési céllal.

A nap- és szélenergia hátrányaként szokták emlegetni, hogy az időszakos működés miatt lehet, hogy akkor termelnek villamos energiát, amikor éppen nincs rá szükség. Az energia tárolásával lehet ezeket a problémákat megoldani. A hatékony energiatárolás azonban nem egyszerű feladat. Ipari volumenben az akkumulátorokhoz hasonló kémiai energiatárolás a gyakorlatban egyelőre nem tűnik megvalósíthatónak.

Egy reális lehetőség a gravitációs víztározós megoldás. Ennek lényege, hogy az erőműben megtermelt villamos energia egy részét nem a hálózatra kapcsolják, hanem vízszivattyúkat működtetnek vele, amelyekkel vizet szivattyúznak az erőműtől magasabban fekvő természetes vagy mesterséges víztározó medencékbe. A későbbiekben, ha az erőmű nem termel elegendő villamos energiát, de szükség lenne rá a hálózatban, akkor a magasabban fekvő víztározóból a vizet kiengedik. A kiáramló víz turbinákat hajt meg, ami generátorokat működtet, így ilyenkor vízerőműként működik az erőmű. A nagy mennyiségű víz tárolására nincs mindenütt lehetőség; ezért ilyen szivattyús-tározós erőművek csak ott működhetnek, ahol van nagyjából egyenletes hozamú vízfolyás, a közelben van olyan magasabban fekvő terület, ahol kialakíthatják a felső víztározókat, illetve az időjárási viszonyok olyanok, hogy a víz nem fagy meg.

Az energiatárolás egy másik módszeréhez szintén vízre van szükség, de teljesen más okból. Ennek a módszernek a lényege, hogy a nap- vagy szélerőműben előállított árammal vizet bontanak. A vízbontás során hidrogén és oxigén keletkezik.

Az így előállított hidrogént akár a földgázvezeték hálózatba is be lehet táplálni, hiszen a földgázhoz szinte korlátlanul keverhető hidrogén. Ezt a hidrogénnel kevert földgázt tárolhatjuk hatalmas földalatti (gáz)tározókban, majd fűtésre vagy gázüzemű villamos erőművekben használhatjuk.

Egy másik lehetőség, ha a vízbontás során keletkező hidrogént és az oxigént az erőműben hatalmas tartályokban tárolják, majd szükség esetén a hidrogén elégetésével hajtánának meg egy hidrogén üzemű motort, és ezzel egy generátort. Kisebb méretben egy-egy háztartás energiaellátására is alkalmas lehet a módszer.

Ehhez kapcsolódva hagy meséljek el egy személyes történetet! Az 1980-as évek második felében jártam gimnáziumba. A 9. évfolyam elején (akkor még 1. évfolyamnak hívták) kaptam az első napelemmel működő számológépemet. (Előtte még nem találkoztam napelemmel.) A következő fizikaórán rögtön előálltam azzal az ötlettel, hogy ugyanilyen napelemeket kellene gyártani, csak sokkal nagyobb méretben, hogy egész garázstetőket be lehessen velük fedni. A napelemek által napközben megtermelt villamos energiát akkumulátorokban lehetne tárolni. Ezeket a feltöltött akkumulátorokat este beletennénk a villanymotoros gépkocsinkba (villanymotoros targoncát már láttam akkor), és másnap ezzel a gépkocsival közlekedhetnénk. Napközben a gépkocsiból kivett csere akkumulátorokat újratöltenénk a napelemekkel, és ez ismétlődne minden nap. Gyakorlatilag ingyen közlekedhetnénk, feltéve, hogy volt valamennyi napsütés.

A fizikatanáromnak és a családban található mérnököknek is beszámoltam az ötletmről, de mindenki „fantazmagóriának” találta: „Kis méretben (a zsebszámológép méretében) megvalósítható, de egy valódi gépkocsi méretében nem.” Nagyjából ez volt a válaszuk. A másik problémaként az akkumulátorok nagy plusztömegét említették, illetve, hogy senki sem cserélgetne a gépkocsijában naponta több darab akkumulátort. (A plusztömeg miatt én nem aggódtam, mert a gépkocsiból kikerült volna a belsőégésű motor, a váltómű, az üzemanyag tank és az üzemanyag-ellátó rendszer. A helyükbe bekerült volna a villanymotor és az akkumulátorok. Én úgy számoltam, hogy ez nagyságrendileg meg egyező tömeg lett volna.)

A következő, továbbfejlesztett ötletem az volt, hogy akkor a garázsban kialakítunk egy olyan akkumulátorokból álló energiatároló rendszert, ami a napelemek által napközben megtermelt villamos energiát eltárolja egy kicsivel nagyobb feszültségen, mint a gépkocsiban lévő akkumulátorok feszültsége, majd az éjszaka folyamán ebből a tároló rendszerből egy egyenirányító készüléken keresztül (biztos, ami biztos alapon) feltöltjük a gépkocsiban lévő akkumulátorokat. Reggel az elektromos gépkocsink „frissen feltöltve” indulhat útjára. A biztonság kedvéért a gépkocsiba bekészítünk egy hagyományos akkumulátortöltő berendezést, meg egy jó hosszú hosszabbító kábelt, ha netán mégis lemerülnének az aksik, majd csak valahol feltölthetjük. Szerintem városon belüli közlekedésre jó lett volna ez a jármű; de annak idején senki sem akarta megérteni, hogy miről beszélek.

Most is azt állítom, hogy megvalósítható lett volna. Milyen kár, hogy hagytam magam lebeszélni róla. Most már hiába mondom, hogy én ezt már 15 évesen kitaláltam, csak nem valósítottam meg.

A hidrogénnek, mint lakossági és ipari energiatárolónak a felhasználása számomra ugyanennyire nyilvánvaló (lenne). A napelemek vagy szélgenerátorok által megtermelt és azonnal el nem fogyasztott villamos energiával vizet bontanánk, majd a hidrogént helyben, tartályokban vagy vezetékes rendszerben továbbítva földalatti gáztározókban tárolnánk (akár a földgázhoz keverve, ha éppen úgy oldható meg). Szükség esetén felhasználhatnánk villamos energia termelésére vagy hidrogén-motorok hajtására vagy hidrogén-cellákban elégetnénk stb.

Egyszerűen nem látom be, hogy ezt a módszert miért ne lehetne megvalósítani a gyakorlati életben. Szerintem minden összetevője adott. Vannak olyan energetikai szakemberek, akik azzal érvelnek a hidrogén ellen, hogy a hidrogén előállítása több energiát igé-

nyel, mint amennyit utána vissza lehet nyerni belőle. Ha a járulékos energiavesztésekre gondolunk, akkor ez igaz lehet. De egyébként ez kit érdekel? Hiszen gyakorlatilag „ingyen” állítottuk elő a hidrogént vízből. A napsugárzásért vagy a szélért egyelőre még nem kell fizetnünk.

Vízenergia

A vízfolyások, tavak, tengerek mechanikai energiakészletét villamos energiává alakító műszaki létesítményt nevezzük vízerőműnek. Bolygónkon a víz teljes térfogatát 1,4 milliárd km^3 -re becsülik, ennek 97,3 %-a az óceánokban és tengerekben található. A víz energiájának hasznosítása kezdetben korlátozott volt, mivel azt csak helyben tudták felhasználni (pl. vízimalom). A villamos energia termelésével az energia nagyobb távolságra szállítható, ekkor a víz egy turbinát hajt meg, ami egy generátort forgat, és ez termeli a villamos energiát.

A vízerőművek többségét folyókra (a kisebb erőműveket patakokra) telepítik. Kiválóan alkalmasak vízerőmű építésére azok a folyószakaszok, ahol nagy a folyó esése. Ha nem elegendő a folyó esése, akkor mesterségesen felduzzasztják: pl. egy könnyen lezárható völgyben, vagy kanyonban völgyzáró gátak segítségével megnövelik a víz szintkülönbségét, és ezáltal a vízhozamot is egyenletesebbé teszik. Léteznek a tenger vagy óceán vízmozgását kihasználó ár-apály erőművek is, de ezek nem terjedtek el. (Magyarország szempontjából ez egyébként sem lényeges.)

Mivel Magyarországon nagyon alacsony a folyók esése, ezért hazánkban szinte csak a mesterséges duzzasztású vízierőművek jöhetnek szóba, kivéve néhány gyorsfolyású hegyi patakra telepített törpe erőművet (ezek teljesítménye általában nem éri el a 10 kW-ot). Hazánkban nem jelentős a vízenergia-termelés, mindössze évi 330 GWh (1,188 PJ) nagyságú (az évi villamosenergia-fogyasztás Magyarországon kb. 44000 GWh). Elméleti síkon hazánkban kb. 1000 MW teljesítményt lehetne a vízenergia kihasználásával előállítani. A gyakorlatban viszont a Dunán és a Dráván nincs működő erőmű. (A Bős-nagymarosi Vízlépcsőrendszer lett volna az a rendszer, amely egyrészt energiát termelt volna, másrészt a Duna vízjárását kiegyenlítette volna.) A Rábán, a Hernádon és mellékfolyóikon üzemel a hazai törpe vízerőművek többsége. Említést érdemel pl. a Tiszaleti Vízerőmű, a Kiskörei Vízerőmű, a kesznyéteni és az ikervári erőmű.

A biomassza felhasználása

A biomassza biológiai eredetű szervesanyag-tömeg: a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) testtömege, illetve a mezőgazdasági és ipari termelésben keletkező biológiai eredetű termékek, melléktermékek és hulladékok. Az elsődleges biomasszába tartozik a természetes vegetáció, a szántóföldi növények, a kertészeti növények, az erdő, a rét, a legelő és a vízben élő növények. A másodlagos biomasszát az állatvilág, gazdasági haszonállatok összessége, továbbá az állattenyésztés főtermékei, melléktermékei, hulladékaik alkotják. A harmadlagos biomassza a biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparok termékeiből, melléktermékeiből, hulladékaiból, az emberi települések szerves hulladékaiból áll.

Gyakori érv a biomassza alapú termékek energetikai felhasználása mellett, hogy elégetésükkor nem járulnak hozzá az üvegházhatáshoz; mivel ilyenkor gyakorlatilag ugyanannyi széndioxidot bocsátanak ki, mint amennyit a növények a növekedésük során

megkötöttek. A Földön a 4. legelterjedtebb energiaforrása a biomassza (jelenleg az 1. a szén, a 2. a kőolaj, a 3. a földgáz).

Energianövények

A megújuló energiaforrások közé tartoznak a különböző energianövények. A szilárd biomassza egy része rövid feldolgozás után azonnal elégethető (pl. fa, szalma), más része átalakítható biotüzelőanyaggá tömörített brikett, pellet formájában. A hagyományos agrártermelési ágazatokban keletkező mező- és erdőgazdasági melléktermékek és hulladékok használhatók főként energetikai célú biomasszának. A tüzelésre egyes egyévi növényfajok (gabonafélék, kender, kukorica, repce), az évente aratott évelő fajok (nádak) és a gyorsan növekvő fafajták (pl. nyár, akác, fűz) a legalkalmasabbak, melyeket az intenzív növekedési fázisuk után érdemes kitermelni. Az energiaerdők telepítésének az a célja, hogy a lehető legrövidebb idő alatt, a lehető legkisebb költségekkel állítsanak elő jól égő tüzelőanyagot. Az energetikai felhasználás mellett a jövőben jelentős szerepe lehet a biomasszából előállított anyagoknak (pl. a keményítő, cellulóz vagy cukor alapú, biológiailag lebomló csomagoló- és szigetelőanyagok stb.).

Nagyságrendileg az ország területének 10%-án kellene energianövényeket termeszteni ahhoz, hogy hazánk villamosenergia-ellátását ezzel a módszerrel megoldjuk. A módszer ellenzői hátrányként szokták megemlíteni, hogy azok a mezőgazdasági területek, amelyeken energianövényeket termelnek, kiesnek az élelmiszeralapanyag-termelésből, ezért csökken az élelmiszer-alapanyagok termőterülete, ami maga után vonja, hogy csökken az élelmiszeralapanyag-termelés mennyisége, illetve ez növelni fogja az élelmiszerárakat. Ennek általánosságban van valóságalapja, de az EU több tagállamában és hazánkban is igaz, hogy vannak olyan mezőgazdasági művelés alá vont területek, ahol gyakorlatilag csak a területalapú támogatás miatt termesztenek valamilyen növényt, nagyon alacsony „hatásfokkal”. Sajnos, a gazdálkodók egy része igazából egyáltalán nincs érdekelt abban, hogy javítson ezen a helyzeten. Ha ezeken a területeken (ahol tulajdonképpen nem is folyik érdemi mezőgazdasági művelés) inkább energianövények termesztése folyna, akkor a gazdálkodókat is érdekeltté tehetnék a termesztés-termelés minőségi és mennyiségi javításában.

David MacKay (2008) szerint nincs annyi szabad földterület hazánkban, amekkora területen megoldhatnánk energianövények termesztésével a teljes villamosenergia-fogyasztásunkat. Ez igaz. Most nincs. De, ha ésszerűbben gazdálkodnánk, akkor szerintünk lenne elegendő terület erre a célra. Az energianövények termesztése egyébként sem igényel különösebben jó termőföldet, sőt a gyenge minőségű területeken is hatásosan termeszthetők. Ha lenne rá állami akarat, akkor véleményünk szerint lenne erre terület is.

MacKay (2008) másik aggálya az, ha mégis ezt a megoldást választanánk, akkor a tájkép radikálisan megváltozna.

Úgy gondoljuk, hogy az utak mellett nagyrészt így is növénytermesztés folyik, ez is megváltoztatja (megváltoztatta) a táj (eredeti) arculatát. Egyébként nem tudjuk, hogy kit zavarja az, ha például az út mellett nem kukoricatáblát látna, hanem mondjuk energiafű mezőt. (Számunkra nagyon érdekes, hogy főként a nagyvárosokban élők aggódnak amiatt, hogy „megváltozik majd a vidék arculata”.) Arról most nem is szólva, hogy a kukorica szárát szintén fel lehetne használni energiatermelésre. Sajnos nálunk ez még nem igazán terjedt el.

A folyékony biomassza hasznosítása

A növényi eredetű biomasszából előállított folyékony energiahordozók (alkoholok, zsírok és olajok) felhasználhatók motorhajtóanyagként, hidraulika- és fékfolyadékaként, kenőolajként, vegyipari és élelmiszeripari alapanyagként és tüzelési célokra.

A **növényi olajok** nemcsak a biodízel alapanyagai lehetnek, hanem finomítás nélkül önmagukban is alkalmasak (lennének) gépek meghajtására (elsősorban mezőgazdasági erőgépeknél használhatók). Ehhez azonban az eltérő viszkozitás és égési tulajdonságok miatt a motorok átalakítása szükséges.

A biodízel üzemanyag előállításához magas olajtartalmú növények szükségesek (pl. a repce, napraforgó), melyek olajából magas hőmérsékleten finomítással keletkezik a biodízel. Előnye, hogy a motorokat nem szükséges átalakítani, ha a hagyományos dízelüzemanyag és biodízel keverékével működtetjük.

Az etilalkohol (etanol) motor üzemanyagként való felhasználása a világon sokfelé elterjedt. Az etilalkohol előállítása magas cukor-, keményítő- vagy cellulóz tartalmú növényi biomasszából történik: Braziliában cukornádból, az USA-ban kukoricából állítanak elő igen nagy mennyiségben etanolt; hazánkban erre a cukorrépa, az édes cirok, a kukorica, a kalászos gabonafélék és a burgonya a legalkalmasabb alapanyag. A **bioetanol** (bioalkohol) a benzint tudja helyettesíteni; 5–15%-os keverési arány esetén a bioetanol tankolása nem igényli a benzinüzemű motorok átalakítását. A bioetanol égéshője kisebb a benzintől. Az Európai Unió 2020-ig 10%-ra kívánja növelni a bioüzemanyagok arányát a teljes üzemanyag-felhasználáson belül.

A biogáz hasznosítása

Biomasszából gáz halmazállapotú energiahordozót is előállíthatunk baktériumok segítségével, levegőtől elzárt, nedves környezetben, 0 és 70 °C hőmérséklet között az alapanyag rothadásával. A folyamat végeredménye a döntően metánból (kb. 50–70%) és széndioxidból (kb. 30–40%) álló, energetikai célokra hasznosítható biogáz, mely tartalmaz még nitrogént, hidrogént, kénhidrogént és egyéb maradványgázokat is. Az alapanyag lehet kommunális hulladék, mezőgazdasági vagy erdőgazdasági melléktermék és hulladék, híg és szilárd trágya. A biogáz felhasználható fűtésre, járművek motorjának üzemanyagaként és elektromos energia termelésére is. A biogáz előállítása után visszamaradó erjesztett trágyát biotrágyának (biohumusz) nevezik. Ez teljes értékű, jól kezelhető, szagtalan anyag, ami kertek, parkok trágyázására használható.

Geotermikus energia

Geotermikus energiának nevezzük a földkéreg természetes hőjét; a geotermikus energia kinyerésére általában a föld mélyebb porózus kőzetrétegeiben jelenlévő vízből történik. A geotermikus energia tulajdonképpen nukleáris eredetű, mivel a Föld belsejében (hosszú felezési idejű) radioaktív atomok bomlásából származik. A hétköznapi életben azonban ezt megújuló energiaforrásnak szokták tekinteni, ellentétben az atomenergiával.

Magyarországon a geotermikus gradiens az európai átlag másfélszerese, 100 m-enként kb. 5–7 °C-ot emelkedik a hőmérséklet a földkéreg belseje felé haladva. A vízzáró rétegekben természetesen előforduló 50–150 °C hőmérsékletű víz távfűtési, kertészeti és gyógyászati célokra használható fel. A megújuló energiaforrások közül a geotermikus

energia kihasználására nincs mindenhol lehetőség. Hazánkban nagy potenciál rejtőzik ezen a területen, ennek kiaknázása a jövő feladata.

A felszínre hozott hévíz sokoldalúan használható, nem okoz vegyi vagy nukleáris környezetszennyezést, hátránya viszont az, hogy helyhez kötött energia, a hasznosítási célokat mindig előre kell megtervezni. Magyarországon eddig a geotermikus energia kiaknázása gyakorlatilag csak a termálfürdők körében terjedt el.

A termálvíz-kutaknál gyakori, hogy az azonos mélységű, egymástól kis távolságra levő kutak vízhőmérsékletben, vízhozamban és az ásványi anyagok összetételében erősen különböznek egymástól; ezért minden egyes termálvíz-kútra épülő energiakinyerési folyamatot egyedileg kell meghatározni. A felhasznált, majd mechanikai és biológiai tisztításon átesett termálvizet vissza kell sajtolni, mivel a vízkészletek végesek.

Energetikai helyzetkép

Ha csak a villamos energiára fókuszálunk, akkor Magyarországon az elméletileg elérhető villamos összteljesítmény kb. 9 GW. Átlagosan kb. 5 GW villamos teljesítményre van igény, a csúcst 2007-ben mérték, ez 6,32 GW volt. Láthatjuk, hogy egyelőre a hazai villamosenergia-ellátás biztonságosnak tekinthető, bőven van tartalék a rendszerben. Valójában a felhasznált villamos energia 10–20%-a importból származik, de ez időszakonként is változó³.

Az Unió energiapolitikájának 3 pillére a fenntarthatóság, az ellátásbiztonság és a versenyképesség, a megújuló energiaforrások ösztönzése pozitívan hat mindhárom pillérre, valamint környezetvédelmi és klímavédelmi szempontból hozzájárul az üvegházhatású gázok emissziójának csökkentéséhez (Csom 2007).

Az utóbbi néhány évben a megújulók aránya növekedésnek indult, bár az össztermelésből kicsi a részesedésük. Ezek főként a biomassza alapú beruházások (egyes széntüzelésű erőművek, valamint fűtőművek átállása), melyek főként a meglévő erdőállományból kitermelt fát használják döntően igen alacsony (kb. 20–25%-os) hatásfokkal. (Szerintünk nem a bükk-, és tölgyerdőket kellene kivágni és elfűteni.)

Az energiaültetvények (energiaerdő, energiafű) létesítése nem halad megfelelő ütemben, pedig ez lenne az alapja a környezeti szempontból kedvezőbb, fenntartható biomassza felhasználásnak. Nem indult meg jelentősebben a biohulladékból, szennyvíziszapból történő energiatermelés, pedig hazánkban jelentős mennyiségű kommunális hulladék, mezőgazdasági melléktermék, állati trágya keletkezik.

A Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv szerint a megújuló energiaforrásokból származó energia arányát 2020-ra 14,65%-ra kell emelni a jelenlegi kb. 7,5%-ról; 2030-ban pedig az összes felhasznált energia 20%-át, a villamos energia 16%-át kell(ene) megújuló forrásokból fedezni.

Aggodalmak

Láthattuk, hogy a megújuló energiaforrások esetén vannak előnyök és hátrányok is. A projektünk alapján mi a megújulókra szavaznánk, de az energiatárolás problémái miatt egyelőre szükség van a nem megújulókra is.

MacKay (2008) több problémát is említett a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatban. Az egyik problémája az, hogy a megújuló energiaforrásokkal működő erőművek mé-

³ <http://gkienergia.hu>

retben jóval nagyobbak, mint pl. egy atomerőmű. Egy atomerőmű területe mindenestül kb. néhány km^2 . Az atomerőművekben az 1 m^2 területre jutó megtermelt energia sok nagyságrenddel meghaladja megújuló energiaforrásokat használó erőművek ezen adatait. MacKay azt kérdezi, hogy a megújuló energiaforrásokat használó erőműveket (nap, szél, biomassza) a jóval nagyobb méreteik miatt a közvélemény (lakosság) vajon elfogadná-e.

A diákok szerint inkább másként kellene a kérdést feltenni, pl. valami hasonló formában:

Kedves fővárosi lakosok!

Hazánk energiafelhasználása folytonosan növekszik, ezért szükség van újabb erőművek építésére. A főváros és környéke a legnagyobb energiafogyasztó régió, ezért, hogy minimálisra csökkentsük az energiaszállítás miatti veszteségeket, a főváros mellett fogjuk felépíteni az ország legújabb energiatermelő erőművét. Ez lehet atomerőmű, amely uránból maghasadással termel energiát, vagy naperőmű, amely a Nap sugárzását használítja, vagy szél-erőmű, amely a szél energiáját használítja. Önöknek tudnia kell, hogy a naperőmű, illetve a szél-erőmű jóval nagyobb területet foglal el, mint az atomerőmű. A döntésükkor ezt is vegyék figyelembe! Kérem, szavazzanak, melyik fajta erőművet építsük fel a főváros határában!

Nagyon kíváncsiak lennénk, hogy melyiket választanák.

Összegzés

A cikkben egy középiskolai projektfeladat tapasztalatait mutattam be. Az iskolánk tanulóival áttekintettük a megújuló és a nem megújuló energiaforrások szerepét az energiaellátásban. A projektben az volt a célunk, hogy a legfontosabb ismereteket összegyűjtsük a témában. Úgy vélem, hogy a tananyagot kiegészítő ismeretek más középiskolások számára is hasznosak lehetnek. A projekt még folytatódott, ennek részleteiről egy másik cikkben szeretnék beszámolni.

IRODALOM

- Csom Gy. 2007: Energiapolitikai prioritások. *Magyar Tudomány*, 1–4.
 GKI Energiakutató Kft. honlapja [<http://gkienergia.hu> – 2014.09.22.]
 Király Márton – Radnóti Katalin 2012a: Az energiáról és az energiatermelésről I. rész. *A Fizika Tanítása* 20, 2. 8–17.
 Király Márton – Radnóti Katalin 2012b: Az energiáról és az energiatermelésről II. rész. *A Fizika Tanítása* 20, 3. 3–12.
 Kiss Ádám 2008: Energiatermelés és környezet. Elhangzott: Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizika Doktori Iskola egyik kurzusán, Budapest 2007/2008-as tavaszi félév.
 MacKay, David 2008: Fenntartható energia – mellébeszélés nélkül [http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/book/translate/SEWTHA_synopsis10_HU_20100720.pdf – 2014.09.22.]
 U.S. Department of Energy [<http://www.energy.gov/> – 2014.09.22.]
 United Nations World Population Prospects - The 2012 Revision [<http://esa.un.org/wpp/> – 2014.09.22.]

Examination of renewable energy resources in school project

In this article I present a secondary school project task related to physics. In this project our students examined the role of renewable energy resources. The students from our grammar school were invited to volunteer in the project. We carried out the tasks in the afternoons on extracurricular physics classes.

Renewable energy is the term used to describe a wide range of naturally occurring, replenishable energy sources. Several technologies can harness various types of renewable energy help to meet the needs of energetic markets: electricity supply, heat supply, services and liquid fuels for transport. In the project we examined the wind energy, the hydro power, the biomass energy, the solar energy and the geothermal energy. The renewable energy sources supply the most environmentally friendly energy production.

The science school project is a collaborative knowledge-sharing method. The aim of our project is while students enlarge their knowledge about physics and energetics, they can develop their applied information technologic skills, economic skills, environment-friendly attitudes, and to prove their cooperative skills as well.